

Tesla Motors - Technik eines Elektrosportwagens - eine Neuerfindung des Automobils -

Dirk Winkel

Philipps-Universität Marburg

5. Juli 2007

Inhalt

- 1 Ein Auto erfinden...
- 2 Der Antrieb
 - Der Motor
- 3 Der Energiespeicher
- 4 Die Karrosserie
- 5 Ergebnis
 - Technische Daten
 - Der „Erfinder“
- 6 Historische Abschlussbemerkungen
- 7 Quellen

Inhalt

- 1 Ein Auto erfinden...
- 2 Der Antrieb
 - Der Motor
- 3 Der Energiespeicher
- 4 Die Karrosserie
- 5 Ergebnis
 - Technische Daten
 - Der „Erfinder“
- 6 Historische Abschlussbemerkungen
- 7 Quellen

Inhalt

- 1 Ein Auto erfinden...
- 2 Der Antrieb
 - Der Motor
- 3 Der Energiespeicher
- 4 Die Karrosserie
- 5 Ergebnis
 - Technische Daten
 - Der „Erfinder“
- 6 Historische Abschlussbemerkungen
- 7 Quellen

Inhalt

- 1 Ein Auto erfinden...
- 2 Der Antrieb
 - Der Motor
- 3 Der Energiespeicher
- 4 Die Karrosserie
- 5 Ergebnis
 - Technische Daten
 - Der „Erfinder“
- 6 Historische Abschlussbemerkungen
- 7 Quellen

Inhalt

- 1 Ein Auto erfinden...
- 2 Der Antrieb
 - Der Motor
- 3 Der Energiespeicher
- 4 Die Karrosserie
- 5 Ergebnis
 - Technische Daten
 - Der „Erfinder“
- 6 Historische Abschlussbemerkungen
- 7 Quellen

Inhalt

- 1 Ein Auto erfinden...
- 2 Der Antrieb
 - Der Motor
- 3 Der Energiespeicher
- 4 Die Karrosserie
- 5 Ergebnis
 - Technische Daten
 - Der „Erfinder“
- 6 Historische Abschlussbemerkungen
- 7 Quellen

Inhalt

- 1 Ein Auto erfinden...
- 2 Der Antrieb
 - Der Motor
- 3 Der Energiespeicher
- 4 Die Karrosserie
- 5 Ergebnis
 - Technische Daten
 - Der „Erfinder“
- 6 Historische Abschlussbemerkungen
- 7 Quellen

Ein Auto erfinden...

Was braucht ein Auto?

- 1 einen Antrieb
- 2 Bremsen
- 3 einen Energiespeicher
- 4 einen Karosserie
- 5 Lampen, Steuerung, etc.

Der Antrieb

Es gibt 4 grundlegend unterschiedliche Antriebstechniken:

- 1 Rückstoßantrieb (Rakete)
- 2 Turbine (Flugzeug)
- 3 Verbrennungsmotor (Schiff)
- 4 Elektromotor (Modellbau)

Welche Technologie soll in unserem Auto Verwendung finden?

Rückstoßantrieb

Vorteile

- sehr hohe Leistungsdichte
- keine Umwucht

Nachteile

- sehr hoher Schadstoffausstoß
- minimaler Wirkungsgrad
→ immense
Wärmeentwicklung
→ immenser Verbrauch
- immense Lärmentwicklung

→ Nicht im Geringsten für Autos geeignet

Rückstoßantrieb

Vorteile

- sehr hohe Leistungsdichte
- keine Umwucht

Nachteile

- sehr hoher Schadstoffausstoß
- minimaler Wirkungsgrad
→ immense
Wärmeentwicklung
→ immenser Verbrauch
- immense Lärmentwicklung

→ Nicht im Geringsten für Autos geeignet

Turbine

Vorteile

- hohe Leistungsdichte
- keine Umwucht

→ Nicht für Autos geeignet

Nachteile

- hoher Schadstoffausstoß
- geringer Wirkungsgrad
→ hohe Wärmeentwicklung
→ hoher Verbrauch
- immense Lärmentwicklung

Turbine

Vorteile

- hohe Leistungsdichte
- keine Umwucht

→ Nicht für Autos geeignet

Nachteile

- hoher Schadstoffausstoß
- geringer Wirkungsgrad
 - hohe Wärmeentwicklung
 - hoher Verbrauch
- immense Lärmentwicklung

Verbrennungsmotor

Vorteile

- moderater Schadstoffausstoß
- moderater Wirkungsgrad
- mobil einsetzbarer Kraftstoff

→ Bedingt für Autos geeignet

Nachteile

- komplexer Aufbau
- teuer
- Verschleißanfällig
- geringe Leistungsdichte
→ schwer
→ mittlerer Verbrauch
- Lärmentwicklung
- Emissionen

Verbrennungsmotor

Vorteile

- moderater Schadstoffausstoß
- moderater Wirkungsgrad
- mobil einsetzbarer Kraftstoff

→ Bedingt für Autos geeignet

Nachteile

- komplexer Aufbau
- teuer
- Verschleißanfällig
- geringe Leistungsdichte
→ schwer
→ mittlerer Verbrauch
- Lärmentwicklung
- Emissionen

Elektromotor

Vorteile

- „kein“ Schadstoffausstoß
- sehr hoher Wirkungsgrad
- hohe Leistungsdichte
→ geringes Gewicht
- einfacher Aufbau
→ preisgünstig

→ Bedingt für Autos geeignet

Nachteile

- schwierige
Energiespeicherung
- langer Tankprozess

Elektromotor

Vorteile

- „kein“ Schadstoffausstoß
 - sehr hoher Wirkungsgrad
 - hohe Leistungsdichte
→ geringes Gewicht
 - einfacher Aufbau
→ preisgünstig
- Bedingt für Autos geeignet

Nachteile

- schwierige
Energiespeicherung
- langer Tankprozess

Vergleich der geeigneten Antriebsarten

Verbrennungsmotor

- komplex → Teuer, fehleranfällig
- Schadstoffausstoß
- schwer
- ineffizient
- nur ein Rohstoff als Treibstoff
- **Aber:**
- mobiler Treibstoff
- leichtes Tanken

Elektromotor

- schwierige Treibstoffspeicherung
- langsamer Tankvorgang
- **Aber:**
- Preisgünstig
- beliebige Energiequelle
- fehlerresistent
- leise
- großer Drehzahlbereich
- keine Emissionen

Vergleich der geeigneten Antriebsarten

Verbrennungsmotor

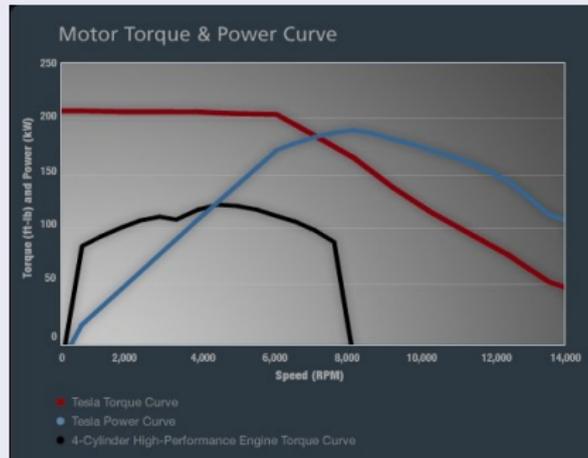
- komplex → Teuer, fehleranfällig
- Schadstoffausstoß
- schwer
- ineffizient
- nur ein Rohstoff als Treibstoff
- **Aber:**
- mobiler Treibstoff
- leichtes Tanken

Elektromotor

- schwierige Treibstoffspeicherung
- langsamer Tankvorgang
- **Aber:**
- Preisgünstig
- beliebige Energiequelle
- fehlerresistent
- leise
- großer Drehzahlbereich
- keine Emissionen

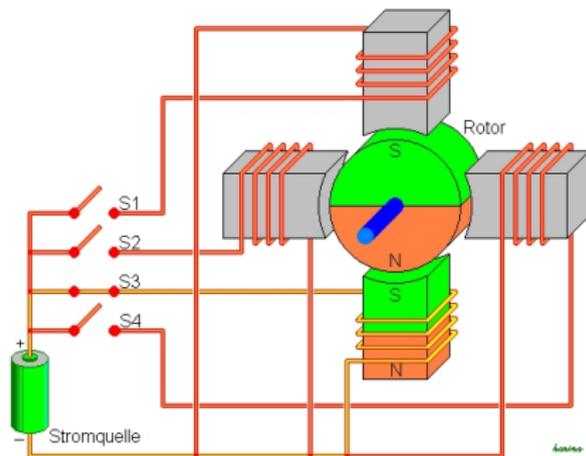
Drehmomentkurve

Verlauf der Drehmomentes in Abhängigkeit der Drehzahl im Vergleich zu einem Verbrennungsmotor



Der Motor

Die zur Zeit effizientesten Elektromotoren sind *Brushlessmotoren*, bei denen als Rotor ein starker Permanentmagnet dient. Die Spulen, die mit ihrem Feld den Rotor antreiben, sind außen im Gehäuse des Motors angebracht. Die Stärksten Permanentmagnete sind die erst seit wenigen Jahren auf dem Markt befindlichen *Neodym-Magnete* (NdFeB).



Ergebnis

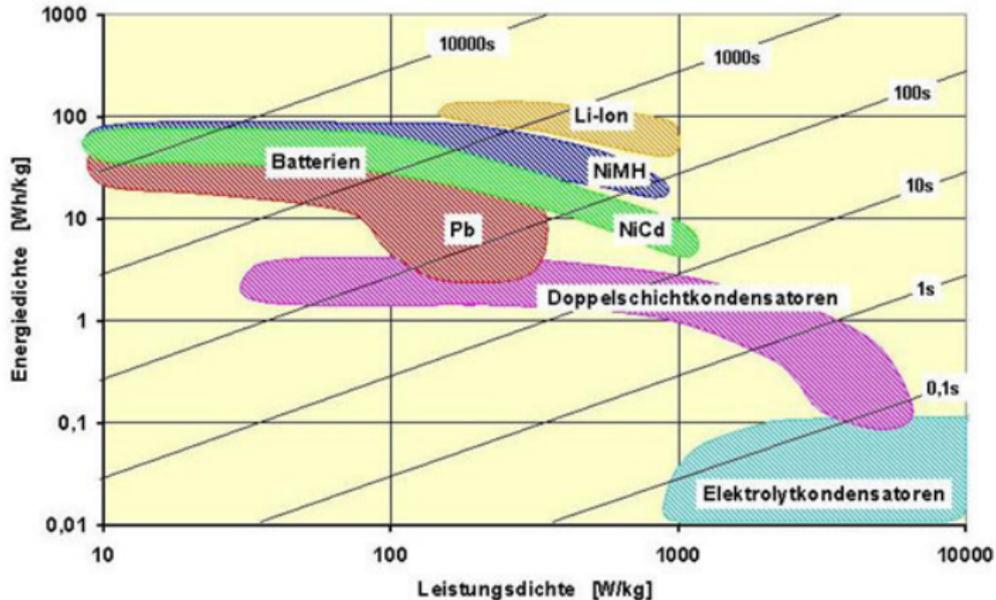
→ Der Elektroantrieb ist optimal, wenn das Problem der Energiespeicherung lösbar ist.

Der Energiespeicher

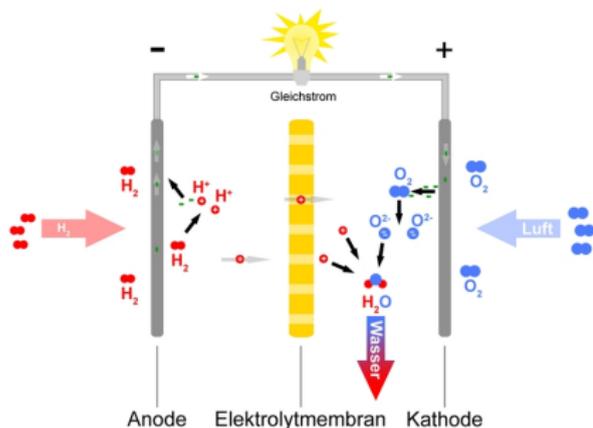
Möglichkeiten für die Energiespeicherung:

- Kondensator
- Wasserstoff (Brennstoffzelle)
- Nickel-Cadmium-Akku
- Nickel-Metallhydrid-Akku
- Lithium-Ionen-Akku
- Lithium-Polymer-Akku
- Bleiakku

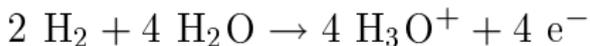
Vergleich unterschiedlicher Energiespeicher



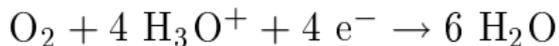
Brennstoffzelle



Anode:



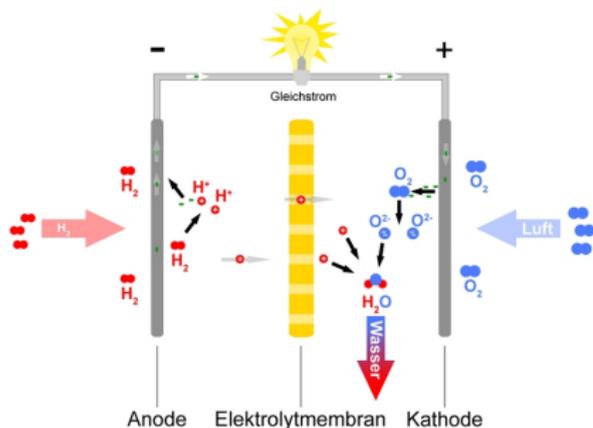
Kathode:



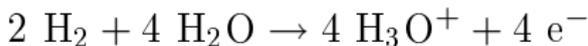
Probleme:

- Wasserstoffspeicherung
- Eisbildung bei kalten Temperaturen
- Abwärme (Wirkungsgrad 62/80%) zerstört Zellen)
- Kosten (z.B. Platinkatalysatoren)
- Gewicht
- Raumbedarf
- Brennstoffgewinnung

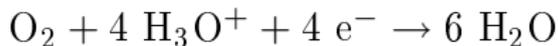
Brennstoffzelle



Anode:



Kathode:

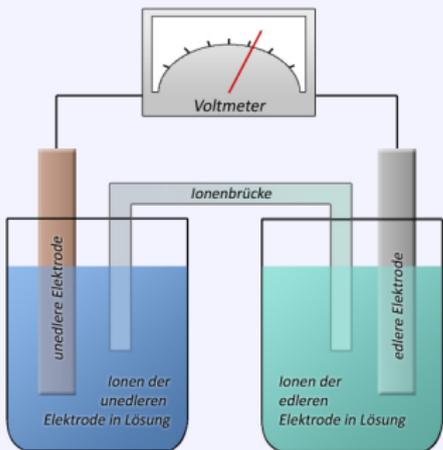


Probleme:

- Wasserstoffspeicherung
- Eisbildung bei kalten Temperaturen
- Abwärme (Wirkungsgrad 62/80%) zerstört Zellen)
- Kosten (z.B. Platinkatalysatoren)
- Gewicht
- Raumbedarf
- Brennstoffgewinnung

Akkus

Arbeitsweise von Batterien und Akkumulatoren



Arbeitsweise von Batterien und Akkumulatoren

Unterschiedliche Ionisationsenergien führen dazu, dass auf der linken Seite weitere Ionen in Lösung gehen können, während auf der rechten die Ionen an der Elektrode abgeschieden werden. Die Ionenbrücke sorgt für den für den Stromfluss nötigen Ladungsaustausch.

Akkutypen im Vergleich

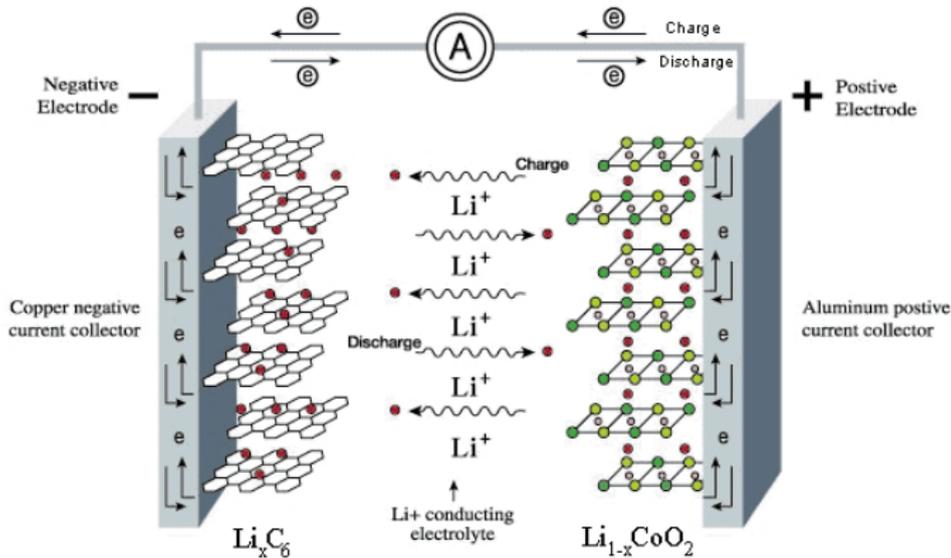
	NiCd	NiMH	Li-Ion	Li-Poly	Pb
Monatl. Selbstentladung	20%	60%	30%	30%	5%
Ladezyklen (C=80%)	1200	1000	400	400	1500
<i>(Keine eindeutigen Zahlen)</i>					
Lebensdauer [Mon.]	30	24	24	24	60
Wirkungsgrad [%]	70	70	80	80	65
Energiedichte (Masse)	1	2-3	3-3,7	4	0,7
Memory-effekt	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
Giftig	Sehr	Nein	Nein	Nein	Ja

Geeignet: Li-Ion, Li-Polymer; NiMH hat eine deutlich geringere Ladungsdichte

Die Lithium-Zelle

Lithium-Ionen- und Lithium-Polymerzellen arbeiten nach dem selben Prinzip, lediglich das Elektrolyt ist bei Li-Ion flüssig und bei Li-Polymer Gelartig fest. Damit hat die Li-Polymerzelle den Vorteil in nahezu jeder Form produziert werden zu können. Jedoch sind diese teurer.

Schema einer Lithiumzelle



Lithiumionen werden in einer dreidimensionalen Struktur eingelagert.

Lebensdauerbegrenzung

- Dendritenbildung → innerer Kurzschluss
- Umstrukturierung → weniger Ionen zur Verfügung
- Tiefentladung → Passivierung der pos. Elektrode durch Ablagerungen aus dem Elektrolyt (S)
- Verwendung bei tiefer Temperatur (hoher Innenwiderstand)
- **Hohe Temperatur** → Oxidation der Elektroden

Ergebnis

Ein Lithium-Ionen-Akku (bestehend aus vielen Zellen) kann als Energiespeicher verwendet werden. Dabei sollte, um eine hohe Zyklenfestigkeit zu garantieren, auf eine mittlere Betriebstemperatur geachtet werden.

Die Karosserie

Gewünschte Eigenschaften:

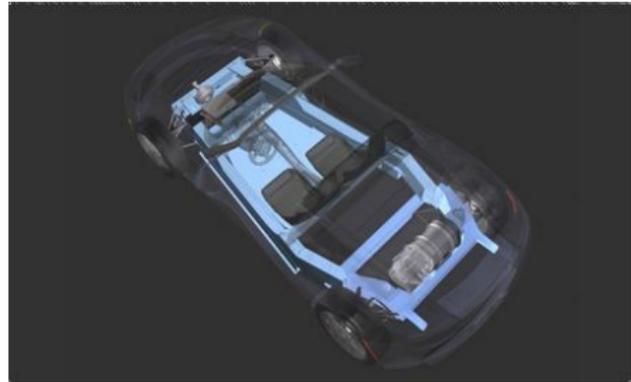
- Rahmen, der Crashnormen gerecht wird
- geringes Gewicht
- hohe Festigkeit (Verwindung, Fahrgeräusche)
- gute aerodynamische Eigenschaften, Design

Der Rahmen

Notwendig:

- hohe Steifigkeit
- geringes Gewicht
- Verformung & Energieaufnahme bei Crash
- Aufnahme der

Aluminium ist hier optimal

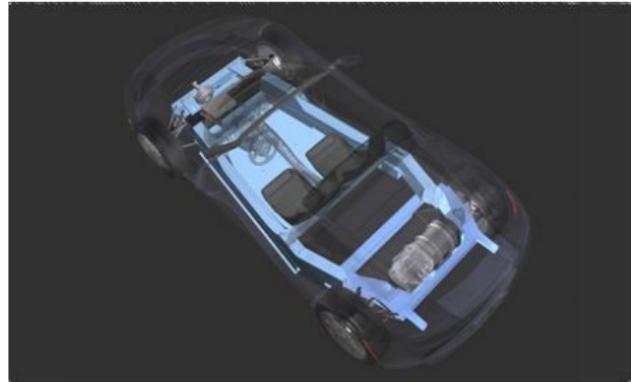


Der Rahmen

Notwendig:

- hohe Steifigkeit
- geringes Gewicht
- Verformung & Energieaufnahme bei Crash
- Aufnahme der

Aluminium ist hier optimal



Außenhülle

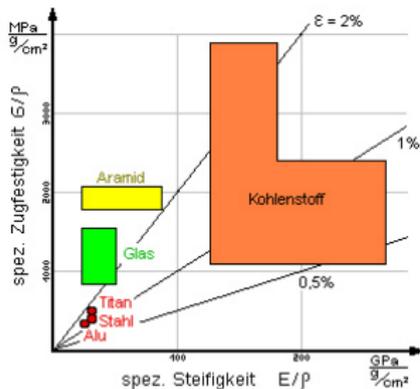


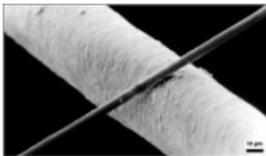
Bild: Spezifische Kennwerte von Faserwerkstoffen
in Anlehnung an des Script "Leichtbau mit Faserver-
bundwerkstoffen" von Dr.-Ing. H. Funke, 2002

Aluminium und Magnesium hat etwa die 3- bzw. 2-fache Dichte wie Faserverbundwerkstoffe. Gleichzeitig ist die Verarbeitung von Magnesium sehr schwierig.

Kohlefasern

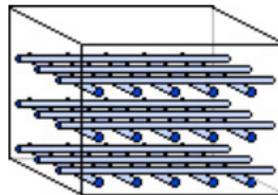
Herstellung:

- organischer Grundstoff
- Verstreckung
- Ausgasen von nicht-Kohlenstoff
- Graphitierung (durch Temp $>1800^{\circ}\text{C}$)



Verarbeitung:

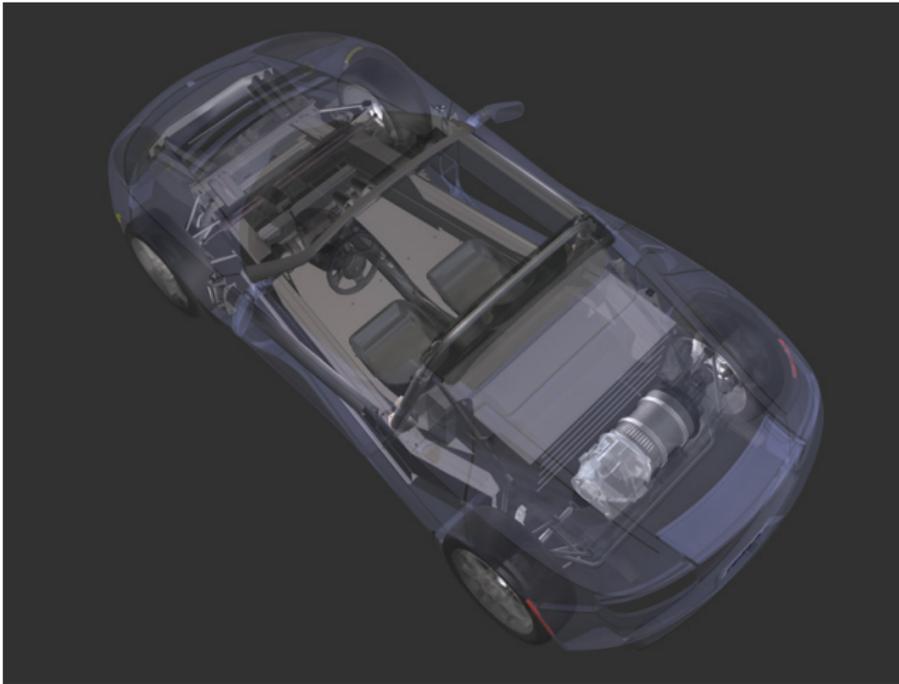
- Verwebung
- Verbindung durch Matrixwerkstoff



Ein Auto erfinden...
Der Antrieb
Der Energiespeicher
Die Karrosserie
Ergebnis
Historische Abschlussbemerkungen
Quellen

Technische Daten
Der „Erfinder“

Das fertige Fahrzeug...



Ein Auto erfinden...
Der Antrieb
Der Energiespeicher
Die Karosserie
Ergebnis
Historische Abschlussbemerkungen
Quellen

Technische Daten
Der „Erfinder“

...in seiner Karosserie



Technische Daten

Tesla-Motors



$P[kw(Ps)]$:	185 (248)
Motor:	4-Pol 3-P
$t[s](0 - 100 \frac{km}{h})$:	$\sim 4,2$
$V_{max}[\frac{km}{h}]$:	220
Preis [US- $\$$]:	98.000

Porsche Boxter



$P[kw(Ps)]$:	180 (245)
Motor:	2,7L 6-Zyl.
$t[s](0 - 100 \frac{km}{h})$:	6,1
$V_{max}[\frac{km}{h}]$:	258
Preis [€]:	45.000

Technische Daten

Tesla-Motors



$P[kw(Ps)]$:	185 (248)
Motor:	4-Pol 3-P
$t[s](0 - 100 \frac{km}{h})$:	$\sim 4,2$
$V_{max}[\frac{km}{h}]$:	220
Preis [US- $\$$]:	98.000

Porsche Boxter



$P[kw(Ps)]$:	180 (245)
Motor:	2,7L 6-Zyl.
$t[s](0 - 100 \frac{km}{h})$:	6,1
$V_{max}[\frac{km}{h}]$:	258
Preis [€]:	45.000

Der „Erfinder“

Martin Eberhardt

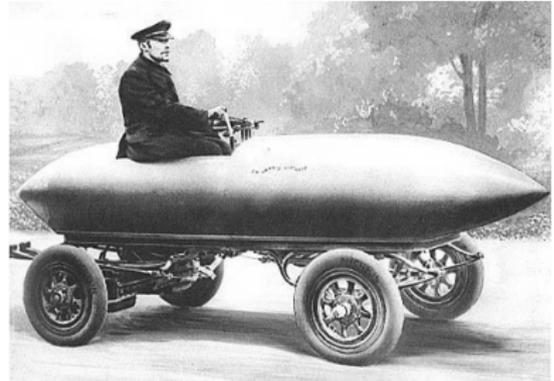


- Californier, 2 Kinder
- Hobbies: Hängegleiten, Paragleiten, Bergfahrten
- Elektroingenieur (Master) und Computerentwickler (Bachelor)
- 3. erfolgreiche Firmengründungen (2 verkauft; 3.: Tesla-Motors)
- mitfinanzierung von Tesla-Motors: PayPal-Gründer, Google-Gründer, eBay-Gründer
- ...4-sitziges Auto in Entwicklung

Historische Abschlussbemerkungen

Elektroautos in der Geschichte:

- Bis zur Jahrhundertwende keine Entscheidung getroffen
- Erstmals $100 \frac{km}{h}$ mit Elektroauto
- Wahl für Verbrenner wegen hohem Batteriegewicht



Quellen

- <http://www.tesla-motors.com>
- <http://www.zeit.de/2007/13/Elektroauto>
- <http://www.prova.de/archiv/2006/00-artikel/0109-vw-ht-brennstoffzelle/index.shtml>
- div. Wikipedia.de & -.com - Artikel
- Halaczek, Radecke: *Batterien und Ladekonzepte*. Franzis Verlag. Feldkirchen 1996
- <http://www.ict.fhg.de/deutsch/scope/ae/ion.html>
- <http://www.aktuelle-wochenschau.de/2006/woche44b/wochenschau44b.html>
- <http://www.elektronik-kompendium.de/sites/bau/0810281.htm>
- <http://mb-s1.upb.de/E-MechLAB/Verbundwerkstoff-Mechanik/EVW/Aufbau/Fasern/Faserverstoffe/>